

Таблица 1

Кинетические характеристики конверсии антрацита в неизотермическом режиме

| X | t, °C | E_a , кДж/моль | k_0 , 1/с |
|-----|---------|------------------|------------------|
| 0,1 | 460–600 | 136 | $1,4 \cdot 10^5$ |
| 0,2 | 480–640 | 123 | $2,7 \cdot 10^4$ |
| 0,3 | 490–670 | 110 | $4,6 \cdot 10^3$ |
| 0,5 | 510–720 | 90 | $3,2 \cdot 10^2$ |

Поэтому из предлагаемых в литературе методов определения кинетических констант по единичному неизотермическому опыту и по нескольким (как правило трем) экспериментам при разной скорости нагрева и равных степенях конверсии предпочтение следует отдавать последнему. Результаты измерений при обработке позволяют рассчитать энергию активации и предэкспоненциальный множитель, которые применяются для математического моделирования процессов конверсии твердого топлива при расчете и проектировании нового оборудования.

УДК 621.746.584

Диало Тьерно Амзата, Камара Сейдуба, М. Д. Казяев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПЕЧЕЙ ОБЖИГА И КАЛЬЦИНАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГЛИНОЗЕМА

Аннотация

Для каждой алюминиевой руды существует наиболее выгодный способ переработки. Определяющей является массовая доля каждого из трех основных оксидов, содержащихся в технологическом сырье (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2), Содержание CaO , H_2O , CO_2 , TiO_2 и других оксидов имеет второстепенное значение. Так для бокситов с низким содержанием кремния рекомендуется использовать гидрохимические способы, а для бокситов, содержащих значительное количество кремния и железа, наиболее приемлемо щелочное спекание.

Из термических способов производства глинозема промышленное применение имеет способ спекания, основанный на получении алюмината натрия. В отличие от гидрохимического способа спекание можно применять практически для любого вида алюминиевого сырья. Однако, в промышленном масштабе его применяют в основном для переработки двух видов сырья – высококремнистого боксита и нефелина.

Рассматривается процесс получения глинозема методом спекания, который состоит из двух стадий: 1 – получение спека (алюминат натрия и силикат кальция); 2 – кальцинация (получение глинозема).

Abstract

For each aluminum ore there is the most favorable way of processing. The mass fraction of each of three main oxides which are contained in technological raw materials is defining (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2), the Maintenance of CaO , H_2O , CO_2 , TiO_2 and other oxides is of secondary importance. So for bauxites with the low content of silicon it is recommended to use hydro chemical ways, and for the bauxites containing a significant amount of silicon and iron it is most acceptable alkaline agglomeration.

From thermal ways of alumina production industrial application has the way of agglomeration based on receiving aluminate of sodium. Unlike a hydro chemical way agglomeration can be applied practically to any kind of aluminum raw materials. However, in

industrial scale it is applied generally to processing of two types of raw materials – high-siliceous bauxite and nepheline.

Considers process of receiving alumina on method agglomeration which consists of two stages: 1 – Receiving spek (aluminate of sodium and silicate of calcium); 2 – Kaltsination (receiving alumina).

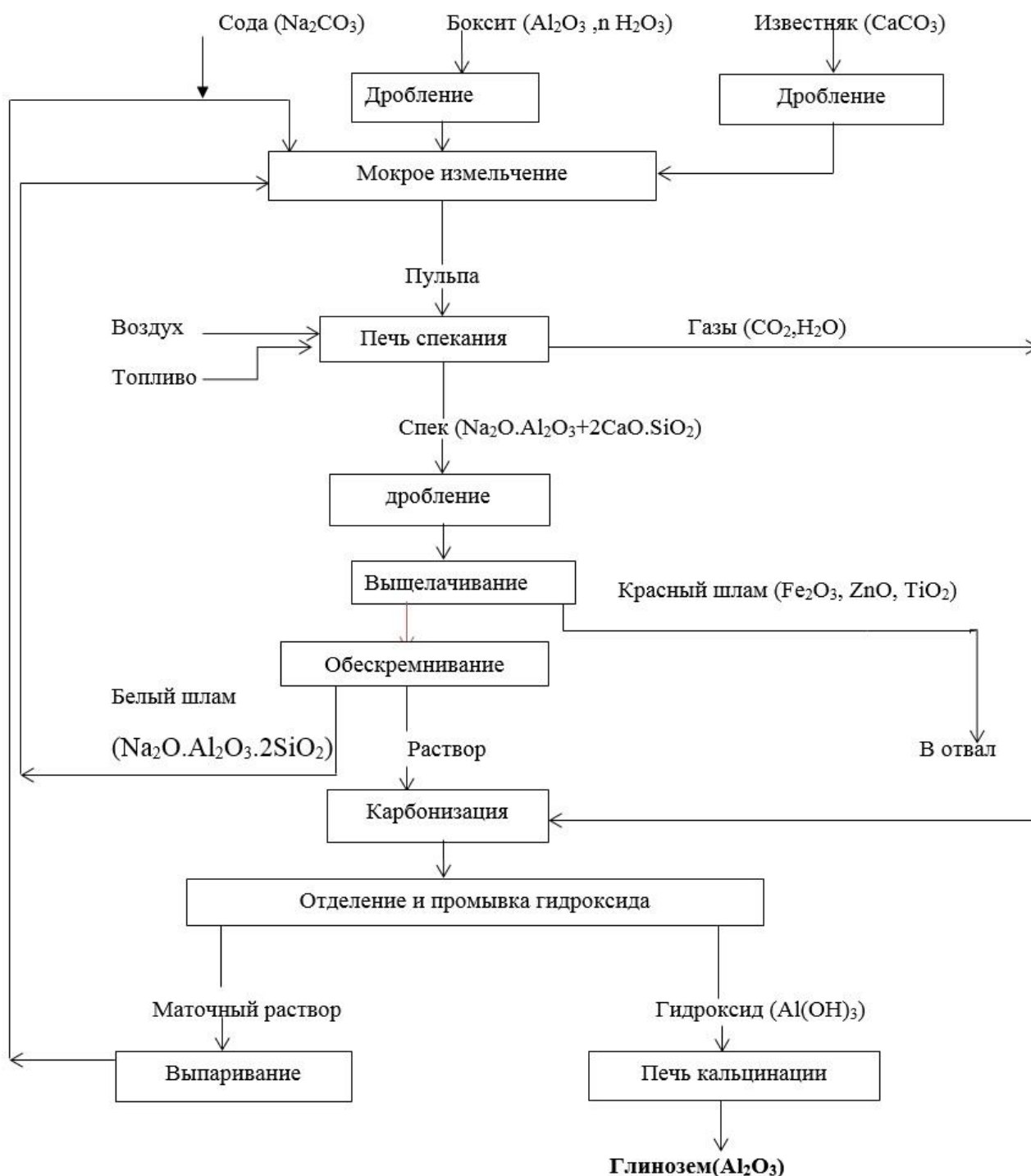


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема производства глинозема по способу спекания

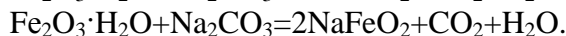
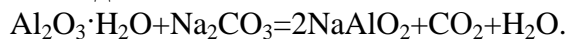
Способ спекания для получения глинозема из высококремнистых ($> 6\text{—}8\%$ SiO_2) бокситов с кремниевым модулем менее 5–7.

Сущность способа спекания заключается в получении твердых алюминатов путем их спекания при высоких ($\sim 1300^\circ\text{C}$) температурах и с последующим выщелачиванием полученного спека.

Цель спекания – перевести содержащийся в руде алюминий в форму водорастворимого алюмината натрия и связать с кремнеземом в малорастворимые кальциевые силикаты. Реакции протекают при спекании насыщенной боксито-содо-известковой шихты.

Основные стадии этого процесса следующие:

Подготовка к спеканию. Боксит (Al_2O_3 48–60 %, Fe_2O_3 15–23%, SiO_2 3–7 %, TiO_2 2–3%, CaO 1–3%, H_2O 10–4%) и известняк (CaCO_3) после дробления измельчают в мельницах в среде оборотного содового раствора с добавкой свежей соды Na_2CO_3 , получая пульпу с влажностью до 40%.



Спекание ведут в пламенных трубчатых вращающихся печах (рис. 2).

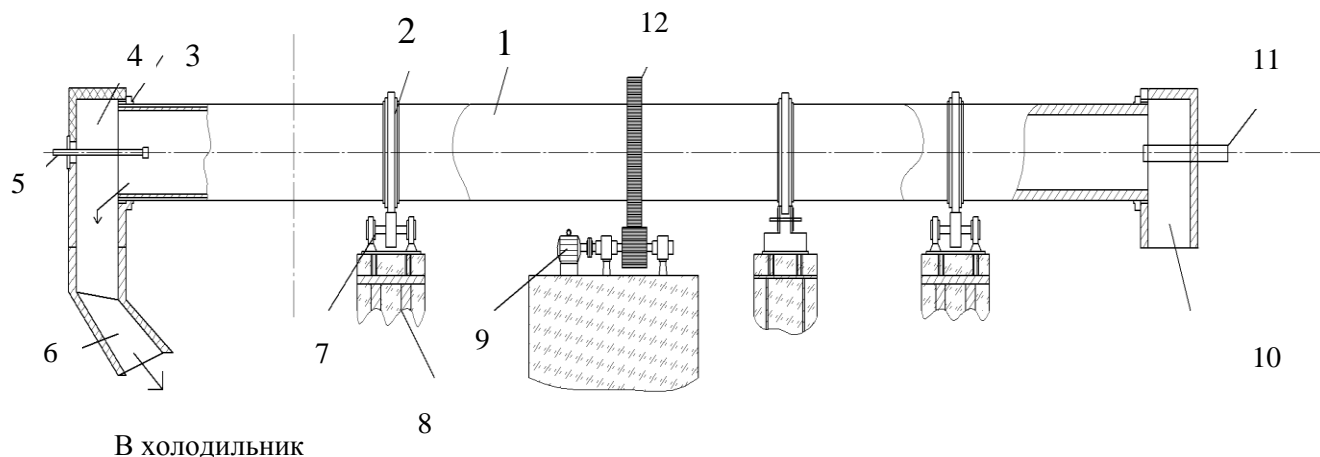


Рис. 2. Общий вид вращающейся печи:

- 1 – барабан печи; 2 – бандаж; 3 – уплотнительное устройство; 4 – топочная камера;
5 – топливосжигающее устройство; 6 – разгрузочная течка; 7 – опорные ролики;
8 – фундамент; 9 – привод барабана; 10 – газоотводящая камера; 11 – пульповая форсунка;
12 – венцовая шестерня

Корпус печи представляет собой сварной металлический барабан диаметром до 5 м и длиной до 185 м, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Барабан сваривают из листовой стали. Как правило, диаметр барабана по всей длине одинаков.

Толщина футеровки составляет 230... 350 мм. Чтобы предотвратить разрушение футеровки при остановках печи, барабан должен вращаться до ее полного охлаждения. На наружной поверхности барабана закрепляют стальные опорные бандаж в виде неразрывных колец шириной 400... 800 мм. Каждый бандаж опирается на два ролика, вращающиеся во время работы печи. Ширина роликов обычно на 50...100 мм больше ширины бандаж. Опорные ролики установлены на массивных стальных плитах, укрепленных на железобетонных фундаментах таким образом, что барабан печи имеет небольшой уклон к горизонту, составляющий 1...3 град. Как правило, уклон задают в процентах от общей длины печи (2...4 %).

Барабан вращается вокруг своей оси со скоростью 0,6...2,0 об/мин, регулирование числа оборотов барабана производят специальным устройством. Для остановки вращения печи в любом положении служит электромагнитный фрикционный тормоз, через обмотку которого во время работы печи постоянно пропускается ток. Когда подача тока прекращается, электромагнит выключается и отпускает колодки тормоза, которые и зажимают приводной вал.

Бокситовую шихту с содержанием влаги 40–42% подают в печь с помощью специальных пульповых форсунок (рис. 3) под давлением 1...2 МПа, создаваемым плунжерным насосом или группой последовательно работающих центробежных насосов. В результате диспер-

гирования шихты образуется большая поверхность испарения, что способствует сушке пульпы во взвешенном состоянии.

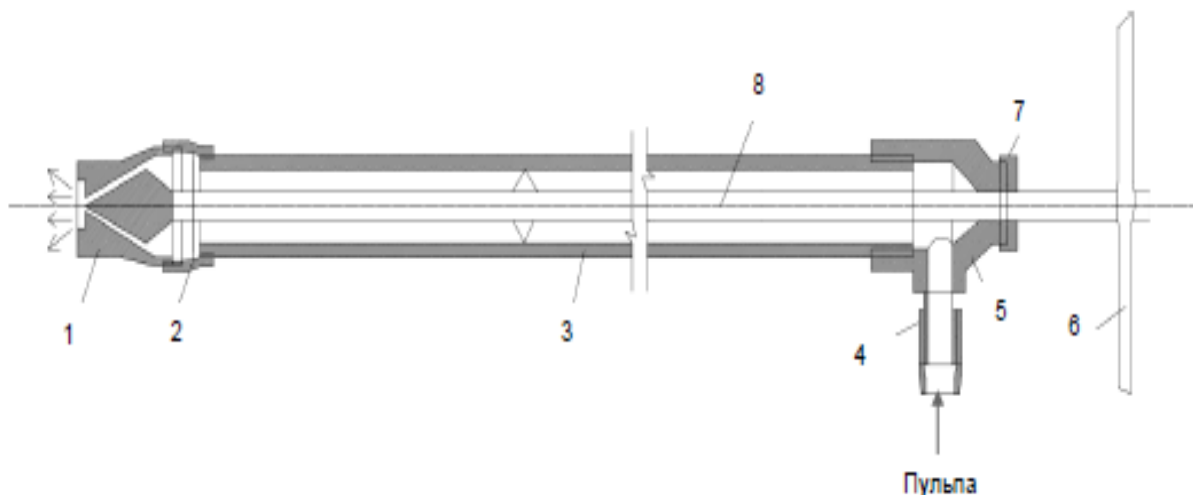


Рис. 3. Пульповая форсунка:

1 – винтовой распылитель; 2 – головка; 3 – корпус; 4 – шланг; 5 – крестовина;
6 – штурвал; 7 – сальник; 8 – шток

Пульповая форсунка представляет собой металлический корпус, имеющий навинчивающуюся на трубу головку с витковым распылителем. Пульпу при помощи шланга, присоединенного к крестовине, подают в форсунку, где она приобретает вращательное движение и выбрасывается через сопло в виде очень мелких капель. Регулировать расход пульпы, продавливаемой форсунками, и добиваться стабильной подачи материала в печь весьма затруднительно. Длина распыла составляет обычно 10–12 м. На каждую печь устанавливают три-пять пульповых форсунок. Форсунки закрепляют на специальном металлическом щите и вдвигают в печь примерно на 0,5 м.

При загрузке бокситовой шихты распыливанием производительность печи лимитируется производительностью зоны сушки, которая, в свою очередь, ограничивается длиной струи распыла.

Для осуществление тепловых процессов в печи сжигается природный газ. На уральском алюминиевом заводе применяют газовую однопроводную горелку (рис. 4).

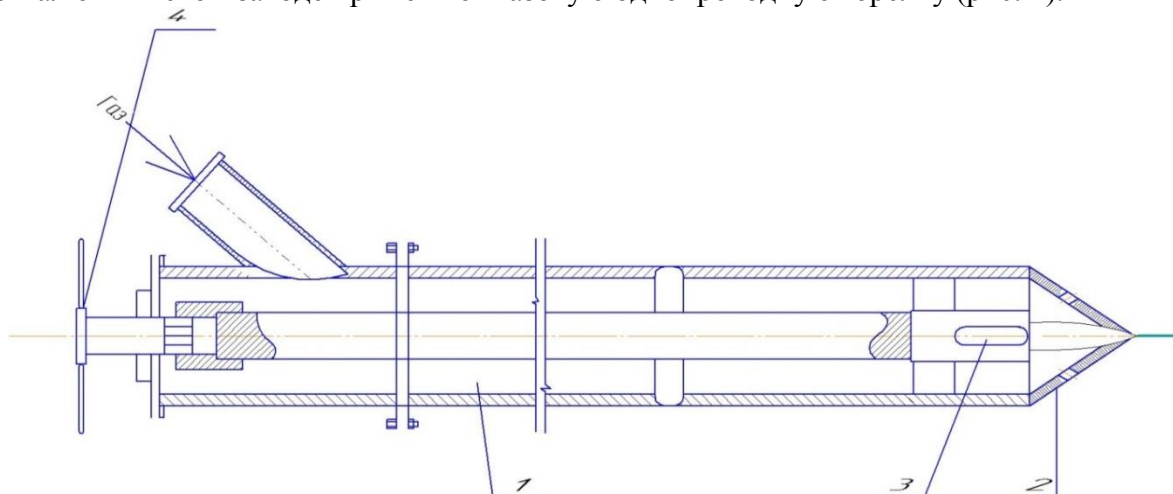


Рис. 4. Однопроводная газовая горелка:

1 – корпус горелки; 2 – газовое сопло; 3 – дроссель-игла; 4 – маховик

В принципе одноканальную горелку принимает при высоких давлениях газа (более 0,1 МПа). У горелки нет завихрителей газа, но для стабилизации горения в выходном сечении сопла предусматривают конусные обтекатели, позволяющие не только стабилизировать го-

рение, но и изменять сечение сопла горелки при постоянном расходе газа, то есть регулировать длину факела.

Горелка состоит из корпуса (1) с соплом газовым (2), дросселя-иглы (3) и механизма перемещения дросселя (4). Основным элементом горелки – сопло представляет собой цилиндр с центральным отверстием, которое перекрывается дросселем-иглой. Также имеется шесть периферийных отверстий, расположенных под углом 30° к оси горелки.

На штоке механизма перемещения нанесены деления для определения положения дросселя-иглы относительно среза центрального отверстия сопла. Газ на выходе из горелки разделяется на 2 потока – центральный и периферийный. Центральный поток обтекает дроссель-иглу и свободно истекает из центрального отверстия сопла. Периферийный поток выходит через 6 сопел. Объемы и скорости газов в потоках определяются положением дросселя-иглы. При перемещении дросселя-иглы в крайнее переднее положение (дроссель-игла задвинута в центральное отверстие сопла) практически весь объем газа проходит через периферийные отверстия (периферийный поток максимальный) – раскрытие факела максимально. При перемещении дросселя-иглы в крайнее заднее положение (дроссель-игла выдвинута из центрального отверстия сопла) большая часть объема газа истекает из центрального отверстия сопла (центральный поток максимальный) – раскрытие факела минимально. При перемещении дросселя-иглы из крайнего левого положения в крайнее правое происходит увеличение средней скорости истечения газа из горелки за счет открытия дросселем-иглой центрального отверстия сопла и увеличения длины факела. Это дает возможность плавно, но незначительно изменять длину факела и, следовательно, зону наивысших температур в печи.

Горелка обеспечивает регулирование массовой скорости истечения газа на срезе сопла в диапазоне 150÷250 м/с.

Температурный режим процесса спекания бокситов:

Все рабочее пространство вращающейся печи можно условно разделить на четыре зоны, в которых происходят определенные изменения обрабатываемой шихты.

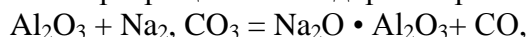
Первая зона, которую называют зоной сушки и обезвоживания, находится в верхней части печи со стороны загрузки шихты. Вначале из шихты испаряется внешняя влага, и температура материала при этом остается практически неизменной, близкой к 100 °С. Затем температура высушенной шихты возрастает до 700 °С. Движущиеся навстречу ей газы охлаждаются с 1200 до 200 °С.

Во второй зоне, называемой зоной кальцинации, температура шихты продолжает расти и достигает 1000 °С. В этой зоне происходит полное разложение карбоната кальция (известняка), требующее затрат теплоты и температура газов снижается с 1400 до 1200 °С.

Третья зона – зона спекания – характеризуется максимальными значениями температуры как шихты (1200–1250 °С), так и газов (1600–1650), поскольку именно здесь происходит наиболее интенсивное горение факела. В третьей зоне полностью разлагается Na_2O_3 и завершается процесс спекания с образованием алюмоферрита и двух кальциевого силиката.

Четвертая зона – зона охлаждения – располагается за срезом заглубленного в печь топливосжигающего устройства, т.е. за горящим факелом. Благодаря потоку идущего из холодильника воздуха, имеющего температуру 150–200 °С, обеспечивается охлаждение спека до температуры 900–1000 °С, что резко увеличивает его механическую прочность (по сравнению с размягченным состоянием), необходимую для перегрузки в расположенный внизу холодильник.

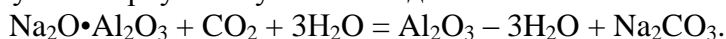
При нагреве оксид алюминия превращается в водорастворимый алюминат натрия:



а кремнезем связывается в малорастворимые силикаты: $\text{SiO}_2 + 2\text{CaO} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. С содой реагирует также Fe_2O_3 боксита, образуя $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Эти химические соединения спекаются, образуя частично оплавленные куски – спек.

После обжиговой печи спек охлаждают в барабанных холодильниках. Затем дробят до крупности 6-8 мм и направляют на выщелачивание. Выщелачивание с целью получения глинозема ведут горячей водой проточным методом в аппаратах различной конструкции: диффузорах (цилиндрических сосудах, куда порциями загружают и выгружают спек), в конвей-

ерных выщелачивателях и др. Наиболее совершенными являются трубчатые выщелачиватели непрерывного действия. Загружаемый через бункер в сосуд высотой 14 до 40 м спек благодаря непрерывной выгрузке секторными разгрузителями 2 движется вниз и промывается встречным потоком воды. В воде растворяется алюминат натрия, вода разлагает также феррит натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и Fe_2O_3 выпадает в осадок. Продуктами выщелачивания являются алюминатный раствор и красный шлам, содержащий Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , CaO . В алюминатный раствор переходит немного кремнезема в виде гидросиликатов, в связи с чем раствор подвергают обескремниванию. Обескремнивание алюминатного раствора осуществляют в батарее автоклавов длительной (~2,5 ч) выдержкой при температуре 150–170 °С. В этих условиях вырастают кристаллы нерастворимого в воде соединения $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (иногда к раствору добавляют известь, в этом случае образуются кристаллы $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Из автоклавов выходит пульпа, состоящая из алюминатного раствора и осадка — белого шлама. Далее раствор отделяют от белого шлама путем сгущения и фильтрации. Белый шлам идет на подготовку шихты (мокрое измельчение) для спекания, а раствор направляют на карбонизацию. Очищенный от кремния раствор подвергается разложению карбонизацией (или декомпозицией), в ходе которой образуются $\text{Al}(\text{OH})_3$ и раствор карбонатов. Гидроксид алюминия направляется на кальцинацию с получением оксида алюминия, а карбонатный маточник после выпарки идет в начало процесса на приготовление шихты (для бокситов) или на глубокую выпарку с получением соды и поташа как конечных продуктов.



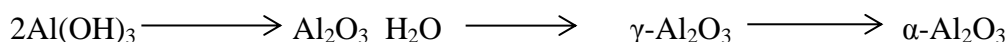
Гидратная пульпа ($2\text{Al}(\text{OH})_3$) подается в печь при помощи пульповой форсунки, где происходят следующие зоны:

В первой зоне печи, которую называют зоной сушки, происходит испарение внешней и гигроскопической влаги гидроксида алюминия, причем температура материала здесь не превышает 200 °С. Температура газов в пределах зоны сушки снижается с 600 до 300 °С.

Во второй зоне — зоне кальцинации — удаляется химически связанная влага, и гидроксид превращается в безводный $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Для этого материал необходимо нагреть до температуры 950 °С. Поток движущихся газов в этой зоне охлаждается на 450 °С — с 1050 до 600 °С.

В третьей зоне — зоне прокаливания — происходит интенсивное горение факела, что обеспечивает максимально высокую температуру газов — 1400 °С. Это позволяет нагреть шихту до 1250 °С, обеспечивающих переход глинозема из γ -модификации в α -модификацию ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). Чтобы гарантировать полное завершение процесса прокаливания, время пребывания материала в этой зоне можно увеличить за счет большего, чем в других зонах, диаметра печного барабана, либо за счет удлинения этой зоны с помощью регулирования процесса горения.

В четвертой зоне — зоне охлаждения — происходит охлаждение готового глинозема до 1000 °С. При нормальной работе печи кальцинации температура покидающих ее газов не должна быть выше 300 °С, что служит надежным критерием обеспечения оптимальной температуры материала в зоне прокаливания ≈ 1250 °С. При хорошем сжигании топлива и отсутствии лишних подсосов воздуха в системе обычно в отходящих газах содержится 13–15 % CO_2 . Содержание CO не должно превышать 0,3–0,8 %.



На сегодняшний день основная задача более гибкого управления температурным режимом печи может быть осуществлена за счет совершенствования процесса горения.

Для достижения этой цели предложено применить газовую двухпроводную горелку конструкции ОАО ВНИИМТ (рис. 5).

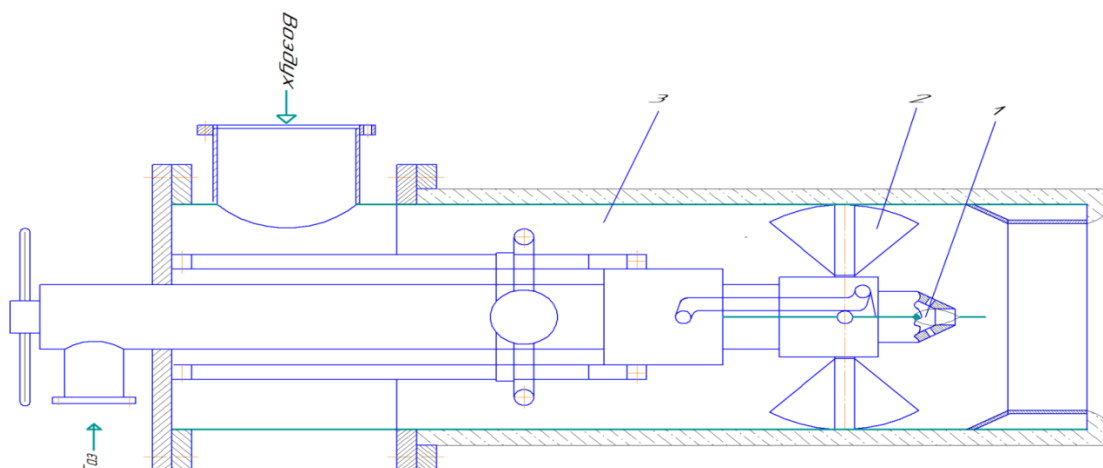


Рис. 5. Горелка с регулируемой длиной и формой факела ВНИИМТ:
1 – газовое сопло; 2 – поворотные лопатки завихрителя; 3 – воздушный корпус.
Газовая горелка вращающейся печи с тепловой мощностью 30 МВт
Тип ГВП-30Гц

Основными параметрами этой горелки являются:

Максимальный расход газа $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$; Давление газа непосредственно перед горелкой после последнего запорного органа при максимальной тепловой нагрузке – 40 кПа; Максимальный расход воздуха, подаваемого в горелку – $22000 \text{ м}^3/\text{ч}$; Давление холодного воздуха перед горелкой при номинальной тепловой нагрузке не более 700 Па; допустимая температура вторичного горячего воздуха – 340°C .

Принцип работы горелки:

Общий вид горелочного устройства показан на рис 5. Горелка состоит из воздушного корпуса, газовой части, завихрителя воздуха с приводом. На конической поверхности газового сопла выполнено 18 отверстий диаметром 18 мм в два ряда, а в центре – одно отверстие диаметром 45 мм, которое может быть либо открытым, либо закрытым игольчатым клапаном. Положением клапана может регулировать расход газа и угол его выхода.

Воздух, подаваемый в горелку, поступает в смеситель, где установлены поворотные лопатки завихрителя с изменением угла поворота от 0 до 60 градусов. При угле поворота 0 градусов образуется длинный факел и газ в основном вытекает через центральное отверстие и фактически горелка работает как обычная длиннопламенная горелка типа труба в трубе. С увеличением угла поворота лопаток возрастает степень перемешивания газа с воздухом, и при этом факел укорачивается без изменения расходных характеристик. Режим течения газа будет более турбулентным, что интенсифицирует процесс горения. Если газ выходит из периферийных отверстий происходит дополнительное укорочение факела и повышение его температуры. Более того, увеличение угла поворота лопаток приводит к увеличению угла раскрытия факела. По классификации эта горелка относится к горелке с частичным предварительным перемешиванием топлива и воздуха и с регулируемой длиной факела. При ухудшении перемешивания газа и воздуха в горелке факел значительно удлиняется.

Уровень температур можно регулирует за счет изменения соотношения расходов топлива и воздуха, подаваемого в горелку.

Список использованных источников

1. Гущин С.Н., Майзель С.Г., Матюхин В.И., Гольцев В.А. Теплотехнические расчёты печей глинозёмного производства: учебное пособие для вузов: Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 230 с.
2. Уткин Н.И. Производство цветных металлов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 442 с.